

Способы интерполяции на СЧПУ SINUMERIK 840D SOLUTION LINE

А.С. Кудинов (ООО "Сименс")

Рассмотрены способы интерполяции, которые применяются в СЧПУ Sinumerik 840D solution line при изготовлении деталей сложной формы на 5-осевом станке¹.

Ключевые слова: система ЧПУ, интерполяция, 5-осевой станок, большой круг, сингулярность.

Введение

Рассмотрим задачу обработки полусферы определенного диаметра D (рис. 1) на 5-осевом станке с кинематикой разного типа (Р, М, Т) (рис. 2). Для каждого из этих случаев потребуется CAD/CAM среда и постпроцессор, в которых будет создана полусфера и получен G-код для обработки программы на станке.

При этом не будем рассматривать вопросов, связанных с материалом полусферы, ее зажима, инструмента и т.д. Сконцентрируемся на понимании процесса обработки с точки зрения системы ЧПУ (СЧПУ) [1, 2].

Линейная интерполяция

Полусфера, созданная в CAD-системе (рис. 3), представлена в виде большого числа полигонов (рис. 4), у каждого из которых есть нормаль к поверхности. На основе этих полигонов создается траектория движения инструмента (рис. 5), которая впоследствии преобразуется в линейные перемещения, описываемые следующим образом:

G1 X... Y... Z... A... (или B...) C... F...,

где X, Y, Z – координаты вершины инструмента, мм; A, B, C – углы вращения вокруг геометрических осей X, Y, Z, градусы; F – скорость подачи в районе кадра, мм/мин. Данный способ программирования зависит от кинематики станка, то есть программа не может быть перенесена на станок с другой кинематикой.

В результате такого описания СЧПУ обрабатывает не сферическую траекторию, а траекторию, приближенную к полусфере, созданную в виде большого числа линейных участков. Но если бы СЧПУ обрабатывала эти перемещения на основе только программного кода, движения инструмента были бы

прерывистыми, то есть в начале кадра вершина инструмента должна ускоряться, а в конце тормозиться. Все это привело бы к осцилляции в процессе обработки детали.

Для улучшения качества обработки поверхностей и устранения описанных явлений в СЧПУ Sinumerik применяется специальный алгоритм, названный LookAhead. Эта функция позволяет СЧПУ в процессе просчета траектории движения смотреть на группу кадров вперед (рис. 6) и тем самым устанавливать более или менее постоянную скорость движения инструмента на этой группе кадров. Тем не менее, на границе кадров возникает ускорение инструмента,

то есть переход через кадры не может быть произведен с той же скоростью, которая была в его центре. Данную проблему можно решить несколькими способами. Один из них – это использование высокого такта интерполятора положения ($< 0,5$ мс), который будет разбивать траекторию на очень маленькие линейные перемещения, что позволит максимально приблизиться к траектории движения. Но при этом управляющая программа станка значительно увеличится, и для ее выполнения потребуется наличие большого объема памяти, а также наличие большого числа кадров LookAhead.

Другое решение данной проблемы – это возможность использования специальных режимов управления траекторией, которые на СЧПУ Sinumerik программируются модально:

- G64 – режим управления траекторией со снижением скорости согласно коэффициенту перегрузки;
- G641 – режим управления траекторией со скруглением по критерию пути;
- G642 – режим управления траекторией со сглаживанием с соблюдением определенных допусков;



Рис. 1

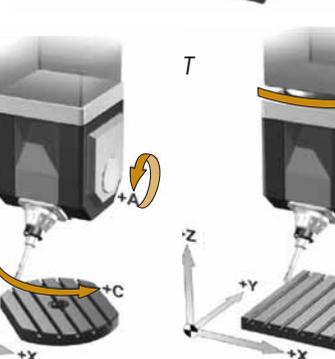


Рис. 2

¹ Работа основана на патенте компании Siemens номер US 6,735,495 B2 от 11 мая 2004 г. "Polynomial and spline interpolation of machine tool orientations".

– G643 – режим управления траекторией со сглаживанием с соблюдением определенных допусков (внутри кадра);

– G644 – режим управления траекторией со сглаживанием с максимально возможной динамикой;

– G645 – режим управления траекторией со сглаживанием углов с тангенциальными переходами кадров с соблюдением определенных допусков.

Данные режимы управления траекторией определяют поведение вершины инструмента при переходе через кадры (рис. 7), а именно: будет ли зона перехода скруглена или сглажена. Под скруглением будет подразумеваться преобразование зоны перехода в часть окружности, а под сглаживанием – преобразование зоны перехода в сплайн (полином третьего порядка).

Использование данных режимов управления позволяет модифицировать траекторию для достижения плавной скорости движения. При этом для уменьшения рывка могут использоваться команды SOFT и включаться предупреждение FFWON.

Группы команд, описанных выше, представляются в виде единого цикла высокоскоростной обработки. Именно использование критерия управления траекторией и команд, воздействующих на качество управления, а также на ускорение движения достигается различное поведение инструмента при различных видах обработки: чистовой, получистовой и черновой.

В СЧПУ Sinumerik используется также функция компрессора, например, COMPCAD. Данная функция выбирает группу кадров и преобразует их к траектории, более приемлемой для достижения оптимальной скорости движения, модифицируя всю траекторию движения (рис. 8), а не только зоны переходов, при этом процесс сжатия зависит от допуска, за который траектория не должна выходить. Компрессор преобразует траекторию движения в полином пятого порядка.

Все описанные функции в СЧПУ Sinumerik входят в цикл CYCLE832 и могут быть запрограммированы в диалоговом режиме (р. Использование данного цикла позволяет получить очень хорошее качество и скорость обработки поверхности при небольшом объеме управляющей программы (рис. 9).

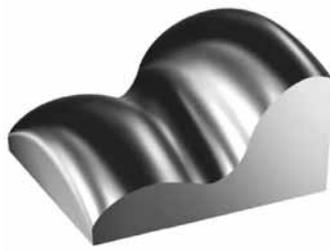


Рис.3

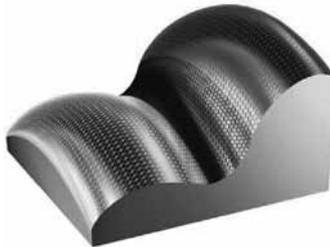


Рис.4

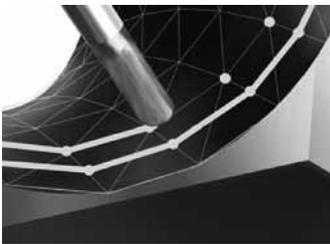


Рис.5

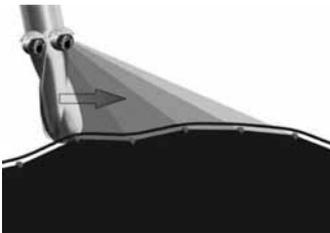


Рис.6



Рис.7

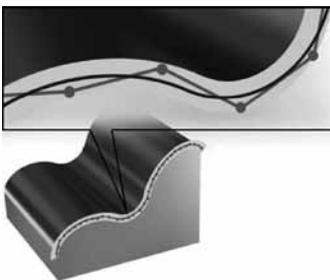


Рис.8

Вышеописанные функции присутствуют во всех современных СЧПУ, характеризуются единым принципом работы, но имеют разный синтаксис.

При этом синтаксис программы может быть также:

– в векторном виде: G1 X... Y... Z... A3=.. B3=.. C3=.. F...;

– в углах RPY или углах Эйлера: G1 X... Y... Z... A2=.. B2=.. C2=.. F...

Основные же принципы перехода от одного кадра к другому основаны на нормалях к поверхности.

На этом можно было бы сказать, что задача по достижению постоянной скорости движения и ускорения на траектории решена, и закончить эту статью, но все не так просто.

Дело в том, что разбиение траектории на полигоны приводит к получению непостоянной скорости и ускорения движения. Процесс заключается в разбиении траектории на группу дискретных точек, определении скорости в этих точках и попытке достичь примерно постоянной скорости движения в промежутках. Но по факту скорость в разных точках будет отличаться, что скажется на качестве поверхности при обработке поверхностей высокой кривизны.

Для получения более качественного результата необходим иной способ интерполяции – интерполяции большого круга.

Интерполяция большого круга

Код G группы 51 отвечает за тип интерполяции, установленный по умолчанию в СЧПУ. Значение 0 говорит о том, что движения траектории будет определяться линейной интерполяцией в системе координат станка или детали. Значение 1 позволит использовать интерполяцию большого круга и такие команды, как ORIAXES, ORIVECT, ORIPLANE, ORICONxx и ORICURVE.

Команда ORIAXES будет означать линейную интерполяцию при G коде группы 51, установленной в 1. Это сделано, чтобы можно было использовать разные типы интерполяций в одной программе обработки.

Основным отличием данного типа интерполяции является способ пересчета движения инструмента. Он представлен в виде вектора, который рас-

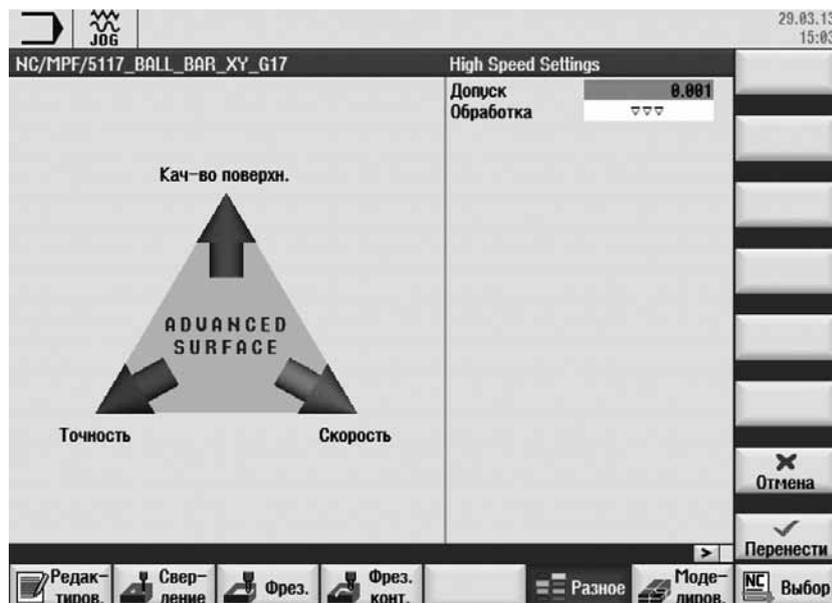


Рис. 9

кладывается на тройку единичных векторов (базисов). При этом процесс перехода от одной ориентации вектора к другой осуществляется по наикратчайшей траектории (рис. 10). А движение вершины вектора определяется полиномом пятого порядка. В статье не будет рассматриваться математический аппарат процесса интерполяции, он описан в патенте.

Основным преимуществом данного типа интерполяции является получение практически постоянных скорости и ускорения движения вершины инструмента на базе нормалей к поверхности.

Но необходимо обратить особое внимание на поведение осей станка, которое при обработке детали может отличаться от запрограммированной стратегии.

Например, возьмем 5-осевой станок с типом кинематики Т. При этом введем допущение, что ось А, которая вращается вокруг оси Х, имеет ограничение на поворот в диапазоне $-90...90^\circ$. При 5-осевой обработке детали, описанной в векторном виде или в углах РРУ и Эйлера, СЧПУ может проверять возможность наезда на концевые программные выключатели. Чтобы не допустить прерывания обработки детали СЧПУ производит поворот одной или двух круговых осей на 180° , и таким образом инструмент всегда находится в зоне обработки. Подобный способ программирования позволит перене-

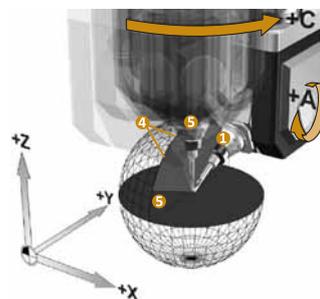


Рис. 10

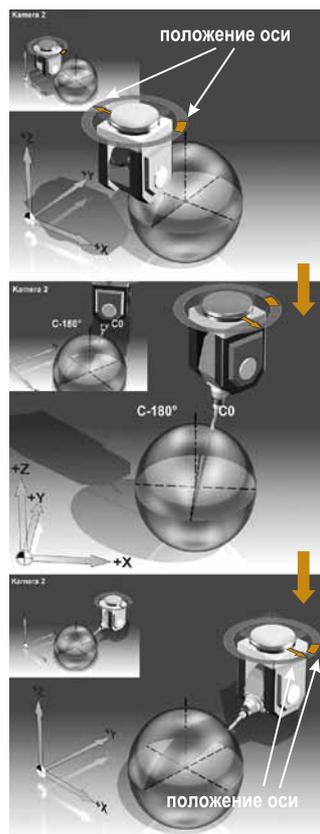


Рис. 11

сить программу обработки на станки с разным типом кинематики.

В примере будем рассматривать процесс обработки без данной функции, то есть ориентация инструмента всегда будет находиться в рабочей зоне станка без пересечения границ программных концевых выключателей.

Запустив одну и ту же программу обработки на одном и том же станке, но при разных типах интерполяции, получим разное поведение инструмента при обработке. При линейной интерполяции СЧПУ будет работать идентично стратегии, заложенной в CAD/CAM-систему.

При интерполяции большого круга работа СЧПУ будет направлена на поддержание постоянной скорости движения инструмента при его перемещении по наикратчайшей траектории при переходе от одного кадра к другому. Это может привести к повороту одной из круговых осей на 180° при интерполяции рядом с областью полюса — в зоне, где ось инструмента совпадает с вектором круговой оси станка, например, оси С (рис. 11).

Сингулярности

Поворот одной из круговых осей является большой неожиданностью для программиста и оператора станка, незнакомых с данным видом интерполяции, так как многие программы после выхода из постпроцессора проверяются на верификаторе, который не показывает данного поворота. Напомним, что поворот происходит не из-за наезда на границу программного концевого выключателя.

Возникает два уместных вопроса.

1. Почему СЧПУ совершает движения, которые не показывает верификатор?
2. Почему этот поворот в принципе происходит?

Ответ на первый вопрос прост. Дело в том, что верификатор не понимает данного типа интерполяции и обрабатывает процесс обработки, как при линейной интерполяции. Это приводит к коллизии на станке. Для недопущения данной ситуации CAD/CAM-система или программа верификации должна понимать принципы работы ядра СЧПУ Sinumerik — это возможно при наличии модуля VNCK (виртуаль-

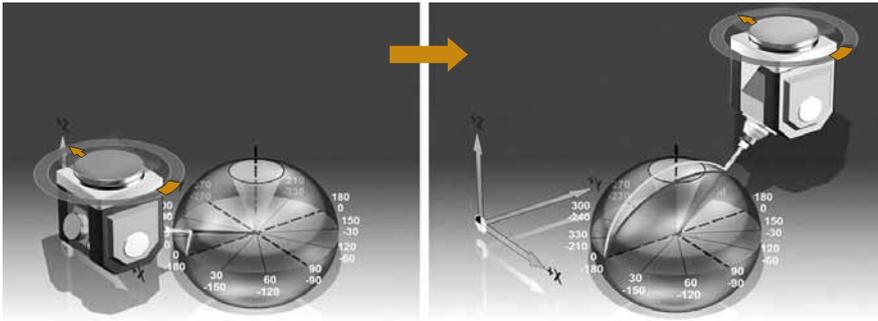


Рис. 12

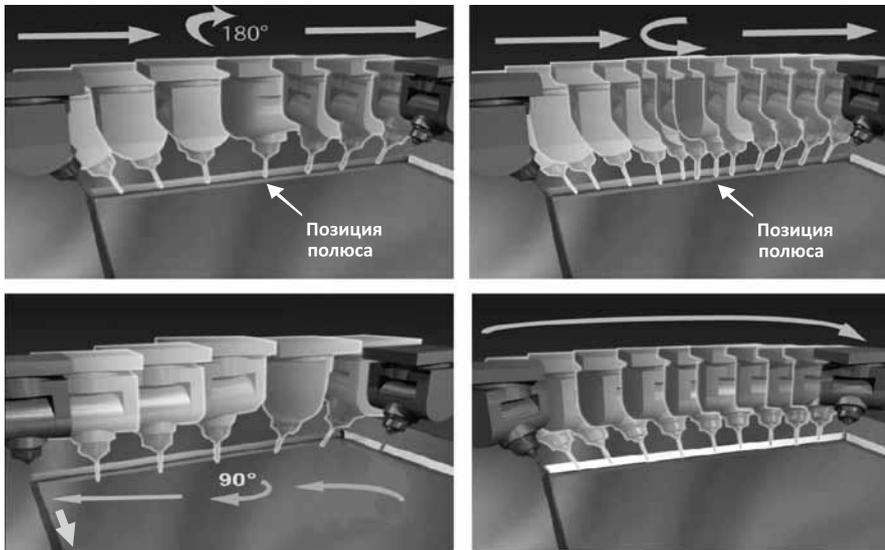


Рис. 13

ное NC ядро) в составе программного продукта. Данный модуль позволяет пропускать управляющую программу через ядро СЧПУ, обрабатывать его согласно настройкам конкретного станка и воспроизводить движения осей в 3D модели, которая создана в пост-процессоре.

Для ответа на второй вопрос, представим, что человек находится на экваторе Земли. И ему необходимо из экватора попасть на полюс, двигаясь с постоянной линейной скоростью по поверхности земли. При этом относительно центра земли он может перемещаться в координатах X, Y, Z и осуществлять поворот вокруг одной из круговых осей – первая круговая ось. Ось вращения Земли будет второй круговой осью. Тогда линейная скорость человека будет равна 1666 км/ч в момент, когда он неподвижно стоит на экваторе.

Достигая полюса, его скорость начнет расти, и когда ось его тела будет параллельна оси вращения Земли, скорость должна быть теоретически равна бесконечности – точка сингулярности. Это в принципе не возможно, так как приведет к повреждению исполнительных механизмов. Для не допущения данной ситуации область полюса ограничивается телесным углом, равным 5°, и при достижении этой области СЧПУ осуществляет движение с ограниченной скоростью, согласно интерполяции ORIAxes, и поворота не происходит (рис 12).

Теперь рассмотрим ситуацию движения рядом с областью, где еще действует интерполяция большого круга. При подходе к меридиану, перпендикулярному траектории движения, человеку придется осуществить следующий “трюк”. Ему нужно будет при небольшом перемещении по траектории движения сделать резкий поворот первой круговой оси, чтобы достичь нужной ориентации. Но этот поворот приведет к рывку, который повлечет нарушение контура и остановку процесса обработки. Для этого необходимо будет повернуть вторую круговую ось на 180°, чтобы скомпенсировать инерцию (рис. 11). В случае с человеком,двигающимся и проходящим через меридиан, его задача будет сводиться к повороту вокруг оси своего тела на 180° и после прохождения меридиана к движению к экватору спиной. Подобное поведение возможно только при постоянной скорости движения с интерполяцией большого круга – ORIVECT.

Поведение в области полюса может быть определено через машинные данные станка, различные варианты

```

Главная программа:
ПРИМЕР_ORICURVE.MPF
N100 CYCLE800(0,"TABLE",200000,57,0,0,0,0,0,0,0,1,,1)
N101 CYCLE800()
N102 G54
N103 WORKPIECE(,,,"RECTANGLE",64,0,-50,-80,110,110)
N104 T="TOROID_D16_R3"
N105 M6
N106 S5000 M3
N107 G54 G0 X0 Y-70
N108 G0 Z10
N109 TRAORI
N110 ORIWKS
N111 CUT3DC
N112 ;TOFFR=0.2
N113 ;TOFFL=0.2
N114 ;***ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТРЫ С CYCLE832***
N115 CYCLE832(0.005,3,1)
N116 ORISON
N117 OTOL=0.5
N118 CALL "ПРИМЕР_6_BSPLINE" ;SUBPROGRAM CALL
N119 G0 Z100
N120 TRAFOOF
N121 TRANS
N122 ORISOF
N133 G0 C0 A0
N134 M30
  
```

```

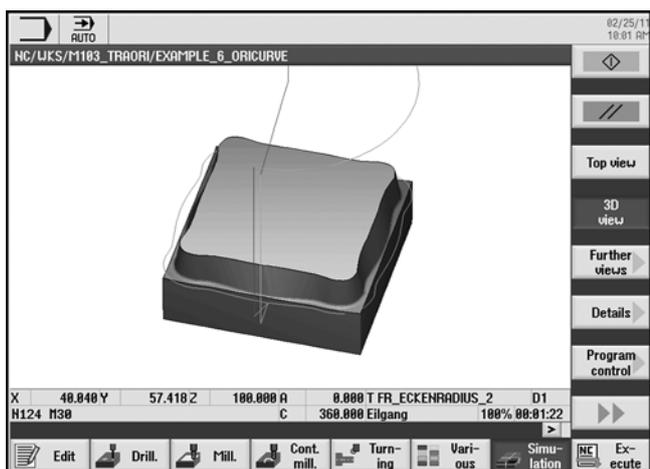
Подпрограмма:
BSPLINE_1.SPF
N100 ORIVECT
N101 G1 Z-18.3 F500
N102 G1 G41 X0 Y-54.44 A2=-20 B2=0 C2=0
N103 ORICURVE
N104 SPLINEPATH(1,X,Y,Z)
N104 BSPLINE SD=2
N105 X0 Y-54.44 Z-18.3 XH=0 YH=-47.59 ZH=0; P01

```

```

N162 X9.980 Y-54.13 Z-18.3 XH=9.980 YH=-47.27 ZH=0; P60
N163 X0 Y-54.44 Z-18.3 XH=0 YH=-47.27 ZH=0; P01
N164 ORIVECT
N165 G1 G40 X0 Y-70 A2=0 B2=0 C2=0
N166 M17

```



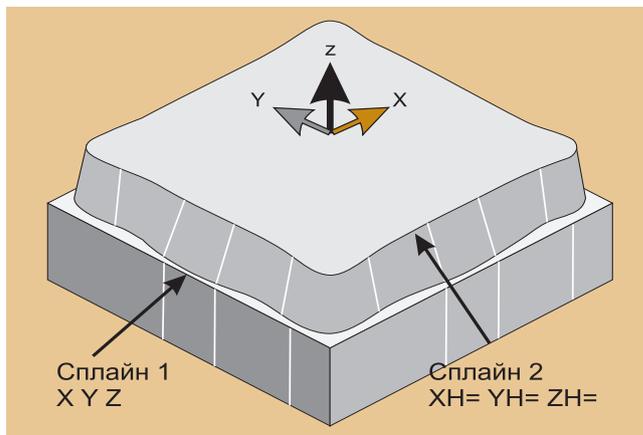
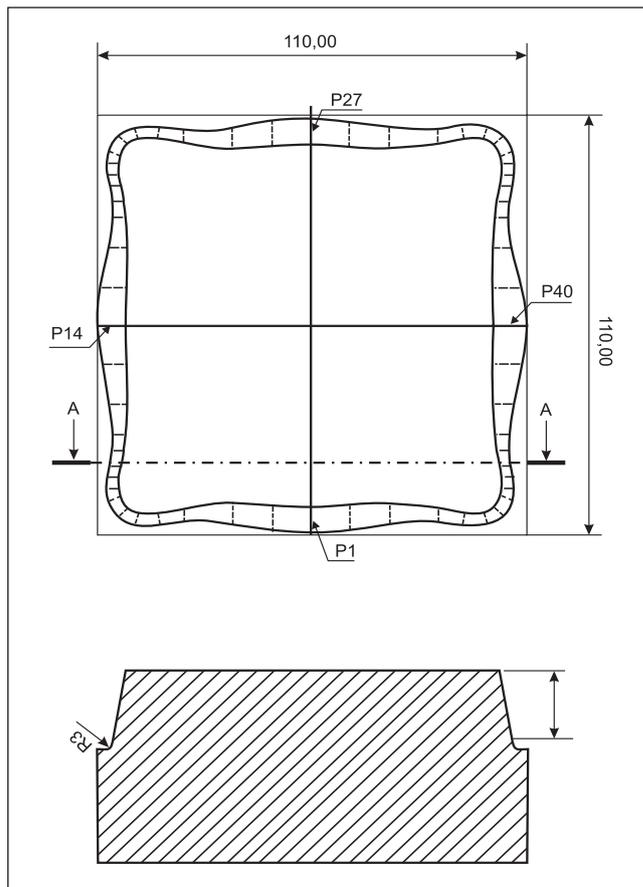
могут представлены на (рис. 13), а детальное описание – в документации по программированию СЧПУ Sinumerik.

Заключение

После ознакомления с данной статьей у читателя может возникнуть желание попробовать описанные возможности на станке. Автору хотелось бы донести до читателя простую истину: работает, не трогай, а если меняешь что-либо, то делай это с пониманием того, что ты хочешь получить.

В общем случае линейная интерполяция применяется для создания поверхностей свободно ориентируемой формы при обработке в 5-осях, например, импеллер, интерполяция большого круга применяется при изготовлении авиационных деталей, а сам принцип движения вектора применяется при конических интерполяциях и двойной сплайн интерполяции.

Чтобы оценить преимущества различных типов интерполяции, читатели могут рассмотреть пример профиля, созданного на основе 60 точек (рис. 12) и попробовать сделать свою программу на базе



ПО Sinutrain Operate, которое можно скачать с сайта www.CNC4YOU.siemens.com.

Список литературы

1. Бретшнайдер Дж. Решения для автоматизации металлообрабатывающих станков на основе инновационной системы ЧПУ // Автоматизация в промышленности. №5. 2012.
2. Кудинов А.С. Системы ЧПУ Sinumerik 840D solution line: компенсация ошибок, влияющих на качество производства // Автоматизация в промышленности. №5. 2010.

*Кудинов Александр Сергеевич – ведущий специалист по продукту ООО "Сименс".
Контактный телефон (495) 737-1-737.*

E-mail: Alexander.Kudinov@siemens.com Http://www.sinumerik.ru